



VI - 583 - ESTIMATIVA PRELIMINAR DO ASSOREAMENTO DE UM RESERVATÓRIO UTILIZADO PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

Willian Lemos Silva⁽¹⁾

Mestrando em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (FECIV/UFU).

José Eduardo Alamy Filho⁽²⁾

Professor da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (FECIV/UFU).

Marcio Ricardo Salla⁽³⁾

Professor da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (FECIV/UFU).

Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis⁽⁴⁾

Professor do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (IG/UFU).

Endereço⁽¹⁾: Av. João Naves de Ávila, 2121- Campus Santa Mônica - bloco 1Y - Uberlândia - MG - CEP: 38408-100 - Brasil - Tel: (34) 3239-4137- e-mail: willian.lemos@ufu.br

RESUMO

Reservatórios localizados em bacias alteradas por usos urbanos e agropecuários são corpos de água susceptíveis ao recebimento de cargas poluidoras crescentes. Dentre essas cargas, destaca-se o aporte de sedimentos, que tende a amplificar o processo de assoreamento. Essa conjuntura é preocupante em reservatórios destinados ao abastecimento público, uma vez que prejudica a qualidade da água e reduz a vida útil desses mananciais. Nesse contexto, o presente artigo faz uma previsão preliminar do assoreamento do reservatório do córrego Mumbuca, que é utilizado para captação de água bruta para abastecimento da cidade de Monte Carmelo, localizada no estado de Minas Gerais. Para isso, foi realizada a delimitação da bacia contribuinte ao reservatório e mapeados os principais usos e tipos hidrológicos de solo, segundo o método do *Soil Conservation Service* (SCS). O método de Schueler foi utilizado para estimativa da carga de sedimentos suspensos. A vazão específica da bacia do reservatório, em $m^3/s/km^2$, foi estimada a partir de processo de regionalização, tomando por base séries históricas de vazões médias mensais em dois postos fluviométricos vizinhos, além de precipitações mensais registradas em estações pluviométricas próximas. O estudo aplicou o programa *Siltingz*, que estima o assoreamento com base na eficiência de retenção de sedimentos. Para isso, foi necessário o conhecimento da batimetria do reservatório, além da estimativa prévia da curva chave de sedimentos, a qual relaciona a descarga específica de sedimentos ($ton/dia/km^2$) com a vazão específica da bacia contribuinte ao reservatório. O estudo comparou três métodos de empíricos para cálculo da eficiência de retenção de sedimentos: as curvas de Brune, de Churchill e de Heineman. Considerando os usos de solo atuais, os resultados simulados indicaram que, em um período de 5 anos, o reservatório tem risco de perder de 6% a 18% de seu volume total em decorrência do assoreamento. Dentro desses limites, a estimativa preliminar é que a sobrevida do reservatório deva estar entre 28 e 78 anos. Condições não estacionárias das bacias contribuintes, pressionadas pelo avanço da urbanização e pela remoção de vegetação nativa, podem acelerar o processo de assoreamento.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte de Sedimentos, Usos do Solo, Simulação Computacional, Reservatório.



Em decorrência das baixas velocidades, reservatórios são corpos de água propícios à acumulação de sedimentos, de forma que o assoreamento é um processo natural ao longo dos anos. Todavia, esse fenômeno é intensificado pela antropização de bacias, cuja remoção de vegetação natural tende a deixar os solos mais expostos, favorecendo o destacamento de sedimentos pela chuva, o carreamento de partículas sólidas pelo escoamento superficial e a formação de depósitos de fundo.

A previsão da vida útil de reservatórios face ao assoreamento envolve incertezas relacionadas a cenários futuros, como a distribuição e a quantidade de precipitação, as alterações no uso do solo, além de imprecisões intrínsecas da modelagem de transformação chuva-vazão e do transporte de sedimentos. Em termos gerais, os primeiros passos consistem no estabelecimento de cenários de uso de solo, de padrões de precipitação e na modelagem das cargas de sedimentos que alimentam o reservatório. Somente após isto, há condições de se estimar a evolução do assoreamento com o passar do tempo.

O reservatório do córrego Mumbuca é utilizado para abastecimento de aproximadamente 38% da cidade de Monte Carmelo, MG (RODRIGUES, 2018). Sua bacia de contribuição localiza-se parcialmente dentro do perímetro urbano, tendo usos do solo modificados por ocupações urbanas, tipicamente residenciais e comerciais, além da implantação de agricultura e pastagens. Como tais usos potencializam a produção de sedimentos na bacia, as taxas de assoreamento do reservatório também tendem a ser aumentadas. A consequência disso é a redução da vida útil do manancial. Nesse contexto, a simulação do assoreamento torna-se conveniente para fornecer subsídios acerca das taxas de assoreamento, bem como para implantação de medidas mitigadoras que possam prorrogar o uso do reservatório como fonte de água para abastecimento público.

O objetivo principal deste artigo foi realizar a estimativa preliminar do assoreamento do reservatório do córrego Mumbuca, corpo de água utilizado para abastecimento público na cidade de Monte Carmelo, MG. Os prognósticos forneceram noções sobre a ordem de grandeza das cargas de sedimentos afluentes ao reservatório e sobre o incremento no volume de depósitos, permitindo estimar taxas anuais de assoreamento. De posse desses resultados foi possível ter noção acerca da vida útil do reservatório.

MATERIAIS E MÉTODOS

A bacia de contribuição do reservatório do córrego Mumbuca foi delimitada a partir da plataforma IDESISEMA, utilizada para licenciamento ambiental no estado de Minas Gerais. Guerrero (2020) apresentou mapas que serviram de base para delimitação dos tipos e usos do solo, enquanto que a imagem do *Google Earth*, datada de dezembro de 2023, foi utilizada para mapeamento do uso do solo atualizado. A Figura 1 ilustra a bacia contribuinte ao reservatório, com destaque para os diferentes usos do solo urbanos/suburbanos e rurais. A bacia foi dividida em 3 regiões: uma área de contribuição à descarga fluvial de sedimentos (MBm) e duas áreas de descarga difusas adjacentes às margens esquerda e direita do reservatório (MLe) e (MLd).

As vazões do córrego Mumbuca foram regionalizadas a partir de registros fluviométricos de duas estações próximas, localizadas no rio Bagagem, nos municípios de Iraí de Minas e Romaria. Esses “dados fonte” de vazão foram normalizados pelas áreas das bacias e plotados em função das precipitações mensais. As correlações entre vazões e chuvas mensais foram obtidas, constatando-se valores moderados ($R=0,546$) para a estação de Romaria e fortes ($R=0,796$) para a estação de Iraí de Minas. Uma regressão linear entre esses dados de vazão específica ($m^3/s/km^2$) e altura pluviométrica mensal (mm) permitiu obter a equação regionalizada para as vazões sintéticas das microbacias “alvo” que descarregam no reservatório analisado.

O método do *Soil Conservation Service* (SCS) e o método de Schueler (1987) foram acoplados para calcular a curva chave de sedimentos suspensos afluentes ao reservatório. Essa curva relaciona a descarga específica média de sedimentos (ton/dia/km²) com a vazão específica afluente ($m^3/s/km^2$). Esses cálculos foram simulados pelo programa elaborado por Alamy Filho e Salla (2015) e Alamy Filho et al. (2018).

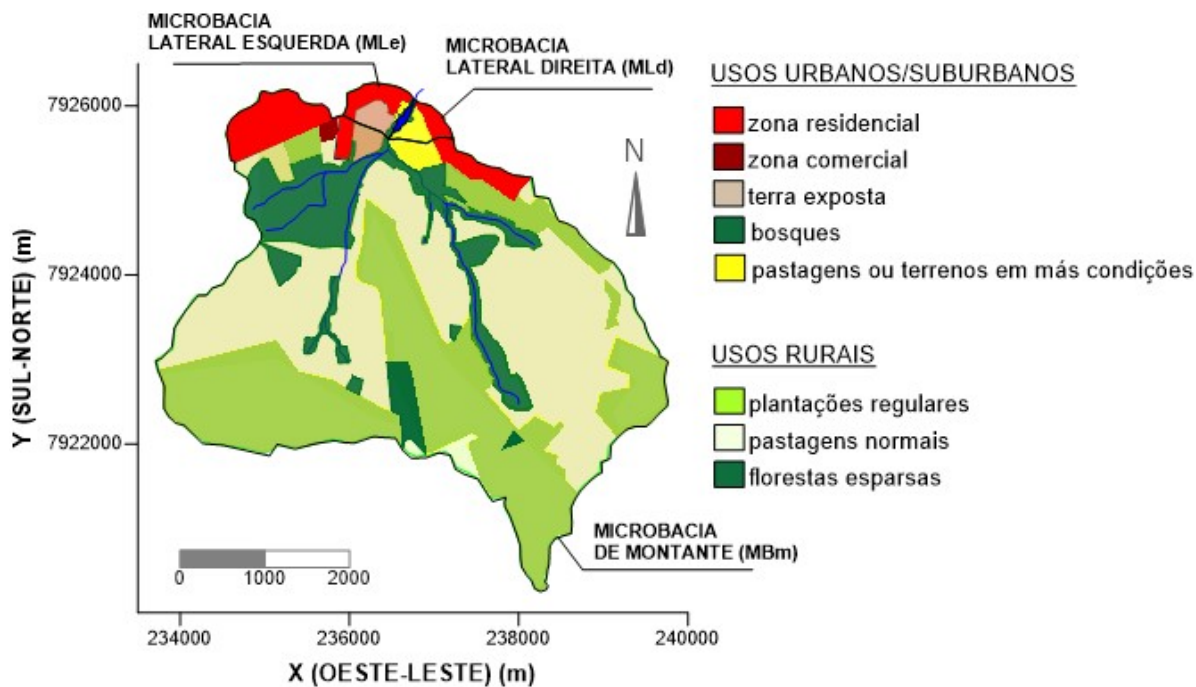


Figura 1: Bacia contribuinte ao reservatório do córrego Mumbuca.

A condição inicial do reservatório foi estabelecida pela batimetria realizada por Cunha (2019). Nesse caso, as coordenadas da varredura do reservatório e as cotas de fundo serviram de base para construção de um modelo batimétrico digital. O método de triangulação foi aplicado para interpolação linear dos resultados. O programa *Siltingz* (ALAMY FILHO, 2021), baseado na eficiência de retenção de sedimentos, foi utilizado para a estimativa da evolução do assoreamento com o tempo.

RESULTADOS

A Figura 2 ilustra a batimetria do reservatório do córrego Mumbuca. Esse corpo de água é dividido em duas zonas. O represamento de montante é formado por uma barragem de nível que dá origem ao reservatório utilizado para captação de água de abastecimento. O trecho de jusante, represado por um bueiro, não tem finalidade de captação. A represa de montante, destinada ao abastecimento, tem volume máximo de 0,012 hm³ (11835 m³). Trata-se de um corpo de água de pequeno porte, com profundidade média de 0,95 m e cuja profundidade máxima não ultrapassa 3 m. Essas características, somadas à sua localização em bacia modificada por usos urbanos e rurais (agricultura e pastagens), ampliam a vulnerabilidade do reservatório ao assoreamento completo.

A Figura 3 apresenta as curvas utilizadas para regionalização de vazões específicas e de descargas específicas de sedimentos. Para geração da série sintética de vazões afluentes ao reservatório, foi utilizada a linha de tendência média entre as estações fonte de Iraí de Minas e Pontilhão (Romaria). A curva chave de descargas específicas de sedimentos foi utilizada para modelar a introdução de partículas sólidas no reservatório.

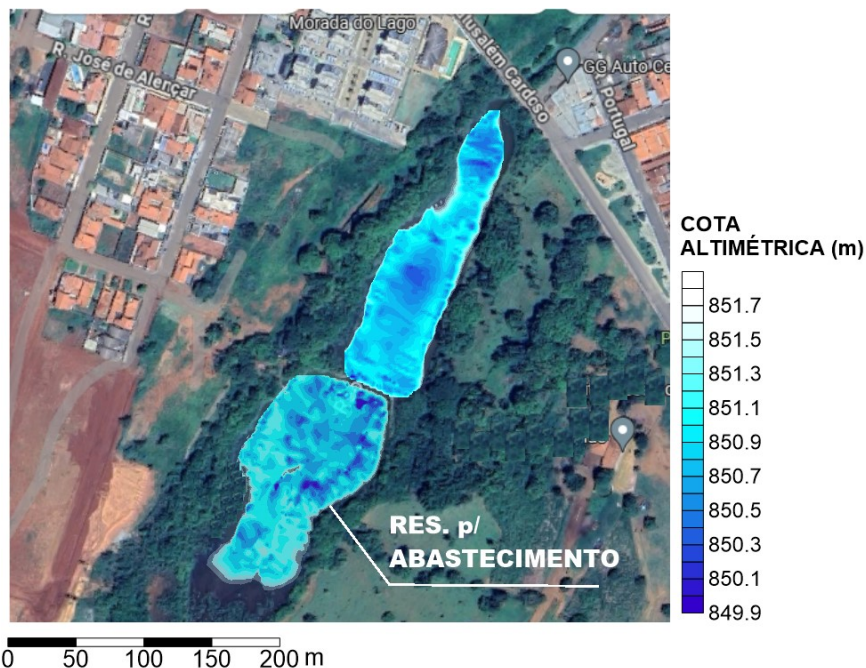
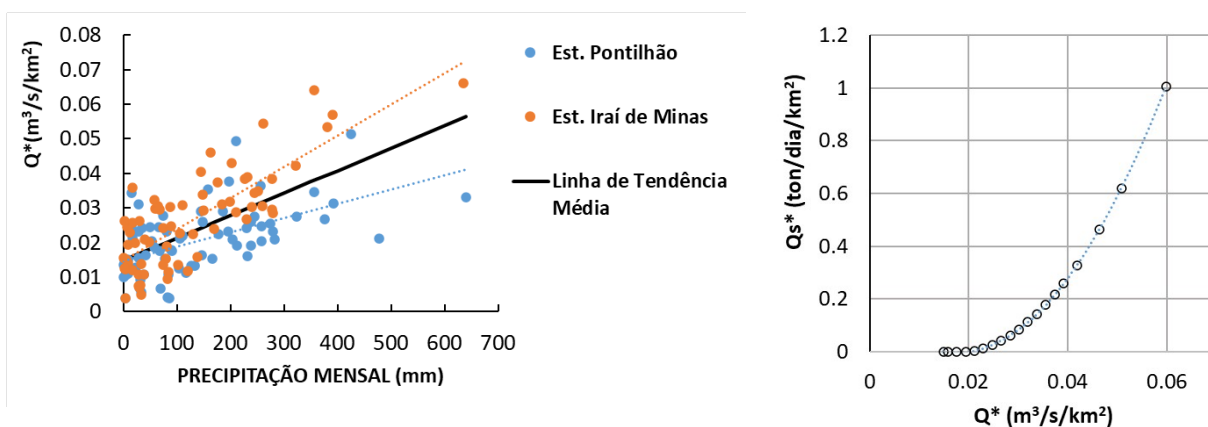


Figura 2: Mapa batimétrico do reservatório do córrego Mumbuca.



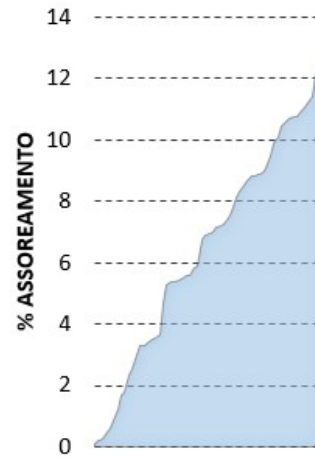
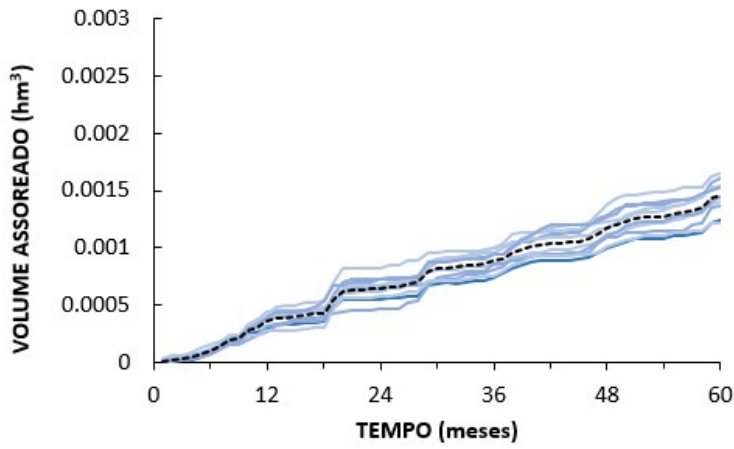
(3a) Relações $Q^*(m^3/s/km^2)$ x P (mm) para estações fluviométricas fonte

(3b) Curva-chave de descarga específica de sedimentos suspensos para seção alvo

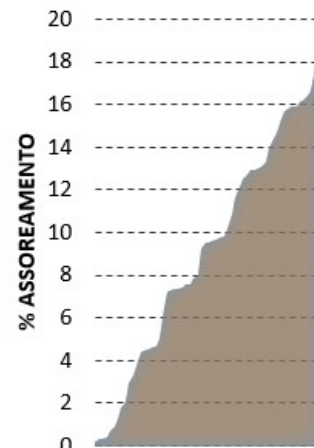
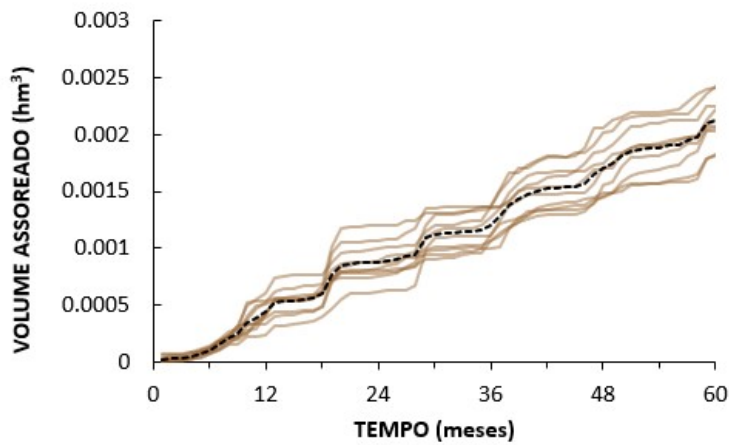
Figura 3: Curvas utilizadas para regionalização de vazões específicas (Q^*) e de descargas específicas de sedimentos (Qs^*).

O programa computacional *Siltingz* quantifica a acumulação de depósitos, tomando por base métodos empíricos de eficiência de retenção de sedimentos dentro de compartimentos. Pelas pequenas dimensões, o reservatório do córrego Mumbuca foi considerado como um compartimento único. A série sintética de vazões, que causa o aporte de sedimentos ao reservatório, foi baseada na série histórica das estações fonte. Todavia, para levar em conta incertezas na previsão das vazões afluentes, um fator aleatório foi aplicado sobre os valores da linha de tendência média, alterando-os em até 50%, para mais ou para menos.

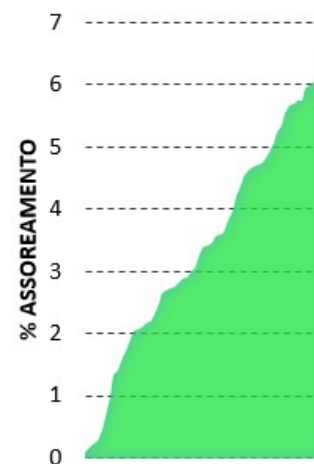
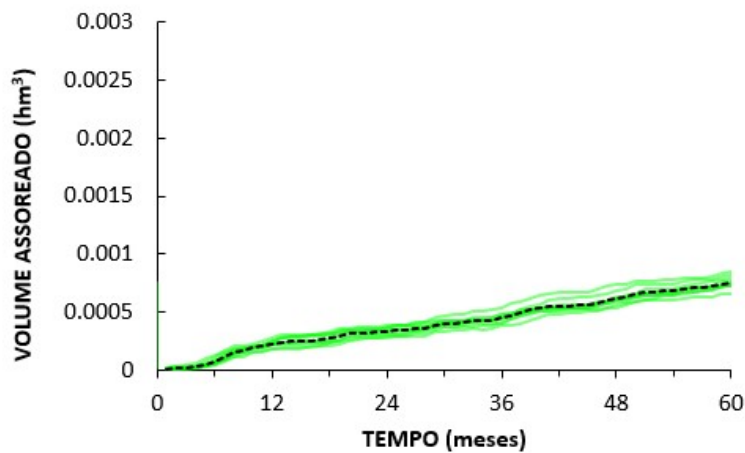
A Figura 4 apresenta diagramas de assoreamento, com volumes de depósitos acumulados em 5 anos de simulação. Em todos os casos, a linha tracejada representa a curva média entre 10 cenários de série sintética de vazão afluente.



(4a) Volume assoreado acumulado estimado pelo método de Brune



(4b) Volume assoreado acumulado estimado pelo método de Churchill



(4c) Volume assoreado acumulado estimado pelo método de Heineman

Figura 4: Evolução temporal do volume de depósitos de fundo e fração de reservatório assoreado.



Os métodos utilizados para quantificar a eficiência de retenção de sedimentos indicaram evoluções temporais diferentes para volumes depositados no reservatório. Dos três métodos aplicados, o de Churchill forneceu estimativas mais severas de assoreamento, seguido pelos métodos de Brune e de Heineman.

De acordo com os resultados, em um período de 5 anos, o reservatório tem risco de perder de 6% a 18% de seu volume total em decorrência do assoreamento. A partir dessas estimativas, é possível estabelecer uma faixa viável para as taxas anuais de assoreamento, as quais variaram de 151 m³/ano (via método de Heineman) até 425 m³/ano (via método de Churchill). Dentro desses limites, a estimativa preliminar é que a sobrevida do reservatório deva estar entre 28 e 78 anos.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, a previsão do assoreamento do reservatório do córrego Mumbuca baseou-se em técnicas de regionalização de vazões específicas e de descargas específicas de sedimentos. Foram utilizados registros históricos de vazões de duas estações fluviométricas fonte, situadas próximas do reservatório (alvo). O método de Schueler foi utilizado para estimativa da produção de sedimentos suspensos nas bacias contribuintes. Trata-se de um método aplicável em bacias alteradas por usos urbanos (residenciais, comerciais, industriais) e também por usos não urbanos (agricultura, pastagens). Esse conjunto de metodologias não exige, em geral, quantidades massivas de dados prévios de monitoramento local, o que torna sua aplicação atrativa em bacias com poucos dados. Todavia, os resultados são aproximados e, por isso, devem ser ponderados como estimativas preliminares. Uma das grandes vantagens é fornecer a ordem de grandeza dos volumes de partículas sólidas depositadas, bem como uma faixa viável para as taxas anuais de assoreamento.

No caso específico do reservatório do córrego Mumbuca, os resultados sugeriram vida útil restante entre 28 e 78 anos. Levando em conta que o reservatório é utilizado para abastecimento público de aproximadamente 38% da população da cidade de Monte Carmelo, esses indicadores são preocupantes. Condições não estacionárias das bacias contribuintes, pressionadas pelo avanço da urbanização e pela remoção de vegetação nativa por atividades agrícolas e pecuárias, podem acelerar o processo de assoreamento. Os resultados aqui apresentados, ainda que preliminares, apontam ordens de grandeza para acumulação de sedimentos no reservatório. Trata-se de um passo para estudos de medidas mitigadoras que possam preservar a disponibilidade e a qualidade de água desse corpo hídrico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo financiamento da pesquisa (processo APQ01699-17, demanda universal), ao Laboratório de Saneamento (LABSAN) e Laboratório de Mecânica dos Fluidos, Hidráulica e Hidrologia (LABHIDRO) da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ao Laboratório de Química do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e ao Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) de Monte Carmelo, Triângulo Mineiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALAMY FILHO, J.E. Software for reservoir silting forecast based on sediment trapping efficiency methods. Revista Brasileira de Engenharia Civil. v. 1, n.1, p. 17-33, 2021.
2. ALAMY FILHO, J.E.; SALLA, M. R. Estudo de impactos ambientais em curso de água natural pela urbanização na bacia do córrego Lageado. Relatório Técnico. UFU. Uberaba, 2015.
3. ALAMY FILHO, J.E.; SALLA, M. R.; MARTINS, C. S.; LIMA, G. Simulation of surface water pollution in a watershed subject to progressive urbanization. UFPB. Journal of Urban and Environmental Engineering. v. 12, p. 293-307, 2018.
4. CUNHA, S.R. Estudo batimétrico da represa do DMAE e utilização de geotecnologias para análise da ocupação do entorno. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia. Monte



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



Carmelo, 2019.

5. GUERRERO, V.M. Mapeamento e avaliação dos riscos de inundação da microbacia do córrego Mumbuca – Monte Carmelo – MG. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Uberlândia. Monte Carmelo, 2020.
6. RODRIGUES, A.A. Avaliação do sistema de abastecimento de água de Monte Carmelo/MG, a partir do plano municipal de saneamento básico. Trabalho de Conclusão de Curso. FUCAMP. Monte Carmelo, 2018.
7. SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M.; Classificação hdrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos parte 1: classificação. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.10, n.4, p.05-18, 2005.
8. SCHUELER, T. Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.